

日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

JC987 U.S. PTO  
09/774686  
02/01/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2000年 2月14日

出 願 番 号  
Application Number:

特願2000-034454

願 人  
Applicant(s):

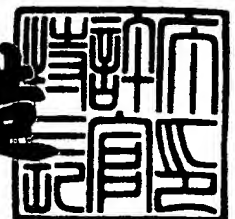
富士通株式会社

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

2000年 9月18日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3075601

【書類名】 特許願

【整理番号】 9903236

【提出日】 平成12年 2月14日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 01/00

【発明の名称】 光信号を再生するための方法、装置及びシステム

【請求項の数】 32

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 渡辺 茂樹

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

【識別番号】 100075384

【弁理士】

【氏名又は名称】 松本 昂

【電話番号】 03-3582-7477

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001764

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704374

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光信号を再生するための方法、装置及びシステム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 非線形効果を提供する光導波構造に光信号を入力するステップと、

上記非線形効果により上記光信号にチャープングを生じさせるステップと、  
上記光導波構造から出力された出力光信号を光フィルタに供給して上記チャープングの小さい成分を除去するステップとを備えた方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の方法であって、  
上記光導波構造は正常分散を提供する光ファイバである方法。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の方法であって、  
上記光フィルタは上記光信号の中心波長に実質的に一致する中心波長を有する光バンドストップフィルタである方法。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の方法であって、  
上記出力光信号を光バンドパスフィルタに供給して上記光信号のパルスのメインスロープ部におけるチャープングよりも大きなチャープング成分を除去するステップを更に備えた方法。

【請求項 5】 請求項 1 に記載の方法であって、  
上記光導波構造に入力されるべき光信号を光フィルタに供給して上記光信号における信号帯域外の雑音成分を除去するステップを更に備えた方法。

【請求項 6】 請求項 1 に記載の方法であって、  
上記光導波構造に入力されるべき光信号を所要のチャープングが得られるように光増幅するステップを更に備えた方法。

【請求項 7】 請求項 1 に記載の方法であって、  
上記出力光信号が分散補償されるように上記出力光信号を分散補償器に供給するステップを更に備えた方法。

【請求項 8】 請求項 7 に記載の方法であって、  
上記光導波構造は正常分散を提供する第 1 の光ファイバであり、  
上記分散補償器は異常分散を提供する第 2 の光ファイバであり、

上記第 2 の光ファイバから出力された光信号のパルスピーク近傍の欠落が減少する程度までパルス圧縮が行われるように上記第 2 の光ファイバの分散値及び入力パワーを調節するステップを更に備えた方法。

【請求項 9】 請求項 8 に記載の方法であって、

上記第 2 の光ファイバから出力された光信号のパルス幅が上記第 1 の光ファイバに入力された光信号のパルス幅に概ね一致するように上記出力された光信号を光バンドパスフィルタに供給するステップを更に備えた方法。

【請求項 10】 請求項 1 に記載の方法であって、

上記光導波構造に入力されるべき光信号をパルス圧縮するステップを更に備えた方法。

【請求項 11】 請求項 10 に記載の方法であって、

上記パルス圧縮するステップは正常分散を提供する第 1 の光ファイバ及び異常分散を提供する第 2 の光ファイバに上記光信号を通過させるステップを含む方法。

【請求項 12】 請求項 1 に記載の方法であって、

上記光導波構造に入力されるべき光信号は複数の光信号を波長分割多重して得られた WDM 信号光である方法。

【請求項 13】 請求項 12 に記載の方法であって、

上記光導波構造は正常分散を提供する光ファイバであり、上記光ファイバは上記 WDM 信号光のクロストークが発生しない程度に大きな分散値を有している方法。

【請求項 14】 入力された光信号にチャープングが生じるように非線形光学効果を提供する光導波構造と、

上記光導波構造から出力された出力光信号が供給され上記チャープングの小さい成分を除去する光フィルタとを備えた装置。

【請求項 15】 請求項 14 に記載の装置であって、

上記光導波構造は正常分散を提供する光ファイバである装置。

【請求項 16】 請求項 14 に記載の装置であって、

上記光フィルタは上記光信号の中心波長に実質的に一致する中心波長を有する

光バンドストップフィルタである装置。

【請求項 1 7】 請求項 1 6 に記載の装置であって、

上記出力光信号が供給され上記光信号のパルスのメインスロープ部におけるチャープングよりも大きなチャープング成分を除去する光バンドパスフィルタを更に備えた装置。

【請求項 1 8】 請求項 1 4 に記載の装置であって、

上記光導波構造に入力されるべき光信号が供給され上記光信号における信号帯域外の雑音成分を除去する光フィルタを更に備えた装置。

【請求項 1 9】 請求項 1 4 に記載の装置であって、

上記光導波構造に入力されるべき光信号を所要のチャープングが得られるように光増幅する光増幅器を更に備えた装置。

【請求項 2 0】 請求項 1 5 に記載の装置であって、

上記出力光信号が供給される分散補償器を更に備えた装置。

【請求項 2 1】 請求項 2 0 に記載の装置であって、

上記光導波構造は正常分散を提供する第 1 の光ファイバであり、

上記分散補償器は異常分散を提供する第 2 の光ファイバであり、

上記第 2 の光ファイバから出力された光信号のパルス幅が上記第 1 の光ファイバに入力された光信号のパルス幅に概ね一致するように上記出力された光信号が供給される光バンドパスフィルタを更に備えた装置。

【請求項 2 2】 請求項 1 4 に記載の装置であって、

上記光導波構造に入力されるべき光信号をパルス圧縮する手段を更に備えた装置。

【請求項 2 3】 請求項 2 2 に記載の装置であって、

上記パルス圧縮する手段は正常分散を提供する第 1 の光ファイバ及び異常分散を提供する第 2 の光ファイバを含む装置。

【請求項 2 4】 請求項 1 4 に記載の装置であって、

上記光導波構造に入力されるべき光信号は複数の光信号を波長分割多重して得られた WDM 信号光である装置。

【請求項 2 5】 請求項 2 4 に記載の装置であって、

上記光導波構造は正常分散を提供する光ファイバであり、上記光ファイバは上記WDM信号光のクロストークが発生しない程度に大きな分散値を有している装置。

【請求項 26】 光信号を伝送する光ファイバ伝送路と、

上記光ファイバ伝送路から出力された光信号が供給される光信号再生装置とを備えたシステムであって、

上記光信号再生装置は、上記供給された光信号にチャープングが生じるように非線形光学効果を提供する光導波構造と、上記光導波構造から出力された出力光信号が供給され上記チャープングの小さい成分を除去する光フィルタとを備えているシステム。

【請求項 27】 請求項 26 に記載のシステムであって、

上記出力光信号を伝送する第 2 の光ファイバ伝送路を更に備えたシステム。

【請求項 28】 請求項 27 に記載のシステムであって、

上記光ファイバ伝送路の入力端に接続された光送信機と、上記第 2 の光ファイバ伝送路の出力端に接続された光受信機とを更に備えたシステム。

【請求項 29】 請求項 26 に記載のシステムであって、

上記光ファイバ伝送路により伝送される光信号は複数の光信号を波長分割多重して得られたWDM信号光であるシステム。

【請求項 30】 請求項 27 に記載のシステムであって、

上記光ファイバ伝送路及び上記第 2 の光ファイバ伝送路の各々は、少なくとも 1 つの光増幅器を含む光増幅中継伝送路であるシステム。

【請求項 31】 請求項 1 に記載の方法であって、

上記光導波構造は正常分散を提供する第 1 の光ファイバであり、

上記光フィルタから出力された光信号を増幅してその増幅された光信号を正常分散を提供する第 2 の光ファイバに供給するステップを更に備えた方法。

【請求項 32】 請求項 14 に記載の装置であって、

上記光導波構造は正常分散を提供する第 1 の光ファイバであり、

上記光フィルタから出力された光信号を増幅する光増幅器と、

上記光増幅器により増幅された光信号が供給される第 2 の光ファイバとを更に

備え、

上記第2の光ファイバは正常分散を提供する装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光信号の再生のための方法、装置及びシステムに関する。

【0002】

近年実用化されている光ファイバ通信システムにおいては、伝送路損失や分岐損失等による信号パワーの低下を、エルビウムドープファイバ増幅器（EDFA）等の光増幅器を用いて補償している。光増幅器はアナログ増幅器であり、信号を線形増幅するものである。この種の光増幅器においては、増幅に伴って発生する自然放出光（ASE）雑音の付加により信号対雑音比（S/N比）が低下するので、中継数ひいては伝送距離に限界が生じる。また、光ファイバの持つ波長分散やファイバ内の非線形光学効果による波形劣化も伝送限界を与える要因である。こうした限界を打破するためには、信号をデジタル的に処理する再生中継器が必要であり、その実現が望まれている。特に、全ての処理を光レベルにおいて行う全光再生中継器は、信号のビットレートやパルス形状等に依存しないトランスペアレントな動作を実現する上で重要である。

【0003】

全光再生中継器に必要な機能は、振幅再生又はリアンプリフィケーション（Reamplification）と、タイミング再生又はリタイミング（Retiming）と、波形整形又はリシェイピング（Reshaping）とである。本発明は、これらのうち特にリアンプリフィケーション及びリシェイピングの機能に着目して、光ファイバ等の光導波構造内を光パルスが伝搬する際に受ける自己位相変調（SPM）効果によるチャープングを用いて、光通信システムにおける全光再生中継器や光ネットワークの各種ノードポイントにおける信号再生器等を提供するものである。

【0004】

【従来の技術】

波形整形器或いは光再生器として最も一般的なものは、入力光信号をフォトダイオード等の受光器により一旦電気信号に変換し、この電気信号をロジック回路を用いて電氣的に波形整形処理した後、この信号でレーザ光を変調するようにしたOEタイプの波形整形器である。OEタイプの波形整形器は従来の光通信システムにおいて再生中継器に用いられている。しかし、OEタイプの波形整形器の動作速度は信号処理のための電子回路によって制限されるので、再生中継器の入力信号のビットレートが低いレートで固定されてしまうという問題がある。

【0005】

一方、全て光レベルで処理する全光タイプの波形整形器としては、波長変換を伴う非線形ループミラー（NOLM）やマイケルソン型或いはマッハツェンダ型の干渉系構成の非線形スイッチ、更には過飽和吸収体によるスイッチ等が多数提案されている（例えば特願平11-133576号、特願平11-239854号、特願平11-293189号参照）。

【0006】

しかし、上述した従来の技術による場合、一度に1チャネルの信号しか処理することができないという問題がある。即ち、再生すべき光信号が、波長が異なる複数の光信号を波長多重して得られたWDM信号光である場合、光信号を再生するための方法を複数回実施しあるいは光信号を再生するための装置を複数台使用する必要があり、方法の実施が煩雑でありあるいは装置構成が大規模になる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

よって、本発明の目的は、光信号のビットレートやパルス形状等に依存しない新規な光信号の再生のための方法、装置及びシステムを提供することである。

【0008】

本発明の他の目的は、WDM（波長分割多重）に適した光信号の再生のための方法、装置及びシステムを提供することである。

【0009】

本発明の更に他の目的は以下の説明から明らかになる。

【0010】



## 【課題を解決するための手段】

本発明の第1の側面によると、光信号を再生するための方法が提供される。この方法では、非線形効果を提供する光導波構造に光信号が供給されると、非線形効果により光信号にチャープングが生じる。そして、光導波構造から出力された出力光信号を光フィルタに供給することによって、チャープングの小さい成分が除去される。

## 【0011】

パルス状の光信号においてチャープングの小さい成分が除去されると、特にパルスのトップ部分及び／又は低パワー部分の強度揺らぎや累積雑音を除去することができるので、光信号のビットレートやパルス形状などに依存せずに光信号を再生することができる。

## 【0012】

また、チャープングの小さい成分を除去するための光フィルタとしてインターリーブフィルタやAOTF（音響光学チューナブルフィルタ）等のように複数の帯域を有する光フィルタを用いることができるので、波長が異なる複数の光信号を波長分割多重して得られたWDM信号光に関して複数の光信号を一括して再生することができる。

## 【0013】

本発明の第2の側面によると、光信号を再生するための装置が提供される。この装置は、入力された光信号にチャープングが生じるように非線形効果を提供する光導波構造と、光導波構造から出力された出力光信号が供給される光フィルタとを備えている。光フィルタは出力光信号におけるチャープングの小さい成分を除去する。

## 【0014】

本発明において、光導波構造としては、正常分散を提供する光ファイバを用いることができ、これにより効果的に光信号にチャープングを生じさせることができる。

## 【0015】

本発明では、効果的に光信号にチャープングを生じさせるために、光導波構造

に入力されるべき光信号を E D F A (エルビウムドープファイバ増幅器) 等の光増幅器により増幅してもよい。

【 0 0 1 6 】

本発明の第 3 の側面によると、光信号を再生するためのシステムが提供される。このシステムは、光信号を伝送する光ファイバ伝送路と、光ファイバ伝送路から出力された光信号が供給される光信号再生装置とを備えている。光信号再生装置は、本発明の第 2 の側面に従って提供され得る。

【 0 0 1 7 】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の望ましい実施の形態を詳細に説明する。

【 0 0 1 8 】

いま、幅  $T_0$ 、ピークパワー  $P_0$  の光パルス  $U(z, T)$  が光ファイバ中を伝搬する場合を考える。ここに、 $T$  は光パルスとともに動く座標系での時間である。この光ファイバの波長分散  $\beta_2$  があまり大きくなく、分散長  $L_D = T_0^2 / |\beta_2|$  が光パルスに対する非線形長  $L_{NL} = 1 / \gamma P_0$  ( $\gamma$  は 3 次非線形定数) に比べて十分長い ( $L_D \gg L_{NL}$ ) 場合には、SPM (自己位相変調) による位相シフト  $\phi_{NL}(z, L)$  は以下のように表せる。

【 0 0 1 9 】

【数 1】

$$\phi_{NL}(z, T) = |U(0, T)|^2 \frac{z_{eff}}{L_{NL}} \quad (1)$$

【 0 0 2 0 】

ここに、 $z_{eff} = [1 - \exp(-\alpha z)] / \alpha$  は有効 (非線形) 相互作用長である。

【 0 0 2 1 】

このとき、チャープ  $\delta \omega_{NL}$  は以下で与えられる。

【 0 0 2 2 】

【数 2】

$$\delta\omega_{NL} = -\frac{\partial\phi_{NL}}{\partial T} = -\frac{\partial|U(0,T)|^2}{\partial T} \frac{z_{eff}}{L_{NL}} \quad (2)$$

【0023】

$|U(0, T)|^2$  はピークパワーに相当するから、(2) 式によれば、光パルスの各部分におけるチャープングは、パワー傾斜がきつい部分ほど大きくなる。また、伝搬距離  $z$  が長くなり非線形長  $L_{NL}$  が短くなる ( $\gamma P_0$  が大きくなる) とともに大きくなる。こうして、SPMによるチャープングは新しい周波数成分を光パルスに与え、結果としてスペクトルを拡大する。

【0024】

一例として、 $m$  次のスーパーガウシアン (Super-Gaussian) 型の光パルス

【0025】

【数 3】

$$U(0,T) = \exp\left(-\frac{T^{2m}}{2T_0^{2m}}\right) \quad (3)$$

【0026】

を光ファイバに入力する場合を考えると、(2) 式より、

【0027】

【数 4】

$$\delta\omega_{NL} = \frac{2m}{T} \frac{z_{eff}}{L_{NL}} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{2m-1} \exp\left[-\left(\frac{T}{T_0}\right)^{2m}\right] \quad (4)$$

【0028】

である。特に、通常のガウシアン (Gaussian) パルス ( $m=1$ ) については、

【0029】

【数 5】

$$\delta\omega_{NL} = \frac{2}{T} \frac{z_{eff}}{L_{NL}} \frac{T}{T_0} \exp\left(-\frac{T^2}{T_0^2}\right) \quad (5)$$

【0030】

である。(3) - (5) 式の様子を図 1 の (A) 及び (B) に示す。図 1 の (A) 及び (B) において、実線はガウシアンパルス ( $m=1$ ) の場合を示しており、破線は  $m=3$  のときのスーパーガウシアンパルスの場合を示している。パルスのスロープに沿ってチャープが発生し、先頭部分では、 $\delta\omega < 0$ 、後尾部分では  $\delta\omega > 0$  となる (アップチャープ)。また、ガウシアンパルスにおいては、パルスのピーク付近ではほぼ線形なチャープとなっている。

【0031】

図 1 の (A) 及び (B) は、光パルスに SPM によるチャープを与えることによって、パルスの時間成分をスペクトル上で分解できることを示している。特に重要なのは、チャープの大きなスロープ中央付近とチャープの小さなピーク付近及び裾部分とを区別できる点である。このことを用いて、例えばピーク及び裾付近の微小なパワー変動や累積した雑音を光フィルタを用いて除去することができる。

【0032】

即ち、まず光パルスを光ファイバ中を伝搬させ、強制的に SPM を発生させ、チャープの大きな部分と小さな部分に周波数的に分離した後、チャープの小さな ( $\delta\omega \sim 0$ ) 付近のスペクトル成分を光バンドストップフィルタ (BSP) を用いて集中的に除去する。その後、逆符号のチャープを与えてチャープ補償し、雑音が除去されたパルスの波形をもとに戻すことができる。

【0033】

逆チャープを与えるための方法としては、光ファイバの波長分散 (GVD) を用いる方法等がある。この方法では、GVD が  $\beta_2$  であるファイバ中を伝搬する光パルスは、 $\beta_2 > 0$  即ち正常分散ファイバ中であれば SPM の場合と同様アップチャープを得ることができ、 $\beta_2 < 0$  即ち異常分散ファイバ中であればダウン

チャープを得ることができる。このように、異常分散ファイバ中を伝搬させることにより、SPMによるチャープを補償可能である。

## 【 0 0 3 4 】

SPMによるチャープを効果的に発生させるためには、ファイバの $\gamma$ 値を大きくする必要がある。一般に、光ファイバの $\gamma$ は、

## 【 0 0 3 5 】

## 【数 6】

$$\gamma = \frac{\omega n_2}{c A_{\text{eff}}} \quad (6)$$

## 【 0 0 3 6 】

で表される。ここに、 $\omega$ は光角周波数、 $c$ は真空中の光速を表し、 $n_2$ と $A_{\text{eff}}$ はファイバの非線形屈折率と有効コア断面積をそれぞれ表す。従来のDSF（分散シフトファイバ）の非線形係数は $\gamma = 2.6 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 程度と小さいので、十分なチャープを得るためには数 $\text{km} \sim 10 \text{ km}$ 以上の長さが必要であった。より短尺で十分大きなチャープを発生するためには、(12)式において $n_2$ を大きくするかモード・フィールド径(MFD)、従って $A_{\text{eff}}$ を小さくして光強度を高くするのが有効である。 $n_2$ を大きくする手段としては、クラッドにフッ素等を添加し、コアに $\text{GeO}_2$ 等をかなり高濃度に添加するなどの方法がある。 $\text{GeO}_2$ の添加濃度が25～30mol%の場合で $5 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ 以上の大きな $n_2$ 値が得られている（通常のシリカファイバでは $n_2 \sim 3.2 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ ）。一方、MFDを小さくすることは、コアとクラッドの比屈折率差やコア形状の設計により可能である。上記 $\text{GeO}_2$ 添加ファイバにおいて比屈折率差 $\Delta$ が2.5～3%程度の場合に、 $\text{MFD} \sim 4 \mu\text{m}$ 程度のものが得られている。これらの効果の総合効果として $15 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 以上の大きな $\gamma$ 値のファイバが得られている。

## 【 0 0 3 7 】

また、分散長を非線形長に比べて十分長くしたり、チャープ補償をするためには、こうしたファイバのGVDを任意に調整可能であることが望まれる。この点に関しても上記パラメータを以下のように設定することにより可能である。まず、通常のDCFにおいて、一般にMFDを一定にした条件で $\Delta$ を大きくすると分

散値は正常分散領域で大きくなる。一方、コア径を大きくすると分散は減少し、逆にコア径を小さくすると分散は大きくなる。従って、与えられた波長帯においてMFDをある値に設定した状態で、コア径を大きくしていくと分散を零とすることが可能となる。逆に所望の正常分散ファイバを得ることも可能である。

## 【0038】

このような方法により、 $\gamma = 15 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 以上の高非線形分散シフトファイバ（HNLD-SF）やDCF（分散補償ファイバ）が実現している。例えば、 $\gamma = 15 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ のファイバは通常のDSFに比べて2.6/15～1/5.7程度の長さで同じ効率を達成可能である。上記のように通常のDSFでは10 km程度の長さが必要であるが、このようなファイバでは1～2 km程度の長さで同様の効果が達成できる。実際には、短くなる分損失が少なくなるから更に短い長さでよい。

## 【0039】

図2は本発明による光信号の再生装置の第1実施形態を示すブロック図である。非線形光学効果を提供する光導波構造として、光ファイバ2が用いられている。光ファイバ2のGVDは $\beta_2$ であり、光ファイバ2は例えば供給された光信号に正常分散及び3次の非線形光学効果を与える。

## 【0040】

中心波長 $\lambda_s$ を有する光信号としての信号パルス4は、光増幅器6により所用のチャープングを発生させるのに十分な程度のパワーまで増幅された後、光ファイバ2に入力される。光ファイバ2内においては、SPMによりチャープングが発生する。チャープングが与えられて光ファイバ2から出力された出力光信号は、阻止帯域の中心波長が $\lambda_s$ のバンドストップフィルタ（BSF）8を通過してチャープングの小さい成分が除去された後、中心周波数が $\lambda_s$ の再生パルス10が出力される。

## 【0041】

チャープングの小さな成分には、主にオフパワー（0符合）成分の零点からの変動分（例えばGVDによる波形劣化）やパルスのピーク付近のスロープの小さな成分が含まれる。これらの成分は光信号対雑音比（OSNR）を決定付けるも

のであるので、この部分をBSFにより除去することにより、これらの成分のパワー変動、消光比劣化、雑音累積等によるOSNRの低下を改善することができる。

## 【 0 0 4 2 】

本発明による光信号の再生の大きな特徴は、波長変換を伴わないことである。これにより、従来にない実用的な2R（リアンプリフィケーション及びリシェイピング）再生が実現可能である。

## 【 0 0 4 3 】

ここで、本発明の実施可能性を評価するために、チャープの程度を見積っておく。例えば $T_0 = 10 \text{ p s}$ のパルスが $\beta_2 = 10 \text{ p s}^2 / \text{km}$ 、 $\gamma = 20 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ の正常分散ファイバを伝搬する場合を考える。 $P_0 = 100 \text{ mW}$ 程度で入力すると、 $L_D = 10 \text{ km}$ 、 $L_{NL} = 0.5 \text{ km}$ であるから、 $L_D \gg L_{NL}$ が成り立つ。従って、ここではチャープに対する分散の影響は無視する。

## 【 0 0 4 4 】

このときチャープ $\delta \omega$ は、 $L = 1 \text{ km}$ のとき $162 \text{ GHz}$  ( $0.21 \text{ nm}$ )である。同様の条件で $P_0 = 200 \text{ mW}$ とすれば、 $324 \text{ GHz}$  ( $0.43 \text{ nm}$ )となる。一方、 $T_0 = 5 \text{ p s}$ のパルスを用いるとすれば、 $L = 0.5 \text{ km}$ 、 $P_0 = 200 \text{ mW}$ に対して $333 \text{ GHz}$  ( $0.43 \text{ nm}$ )となる。 $5 \sim 10 \text{ p s}$ の短パルスに対しては、例えば $40 \text{ Gb/s}$ 程度の信号であっても、 $200 \text{ mW}$ 程度のピークパワーは比較的容易に実現可能であり、帯域 $0.2 \text{ nm}$ 程度のBSFも実現可能であるから、上記見積もりを考慮しても本発明は実現可能である。

## 【 0 0 4 5 】

図3は本発明による光信号の再生装置の第2実施形態を示すブロック図である。この実施形態では、光ファイバ2から出力された出力光信号がバンドストップフィルタ8だけでなくバンドパスフィルタ(BPF)12をも通過するようにされている。バンドパスフィルタ12の通過帯域の中心波長は $\lambda_s$ に設定されている。図示された例では、光信号の伝搬方向に向かってバンドストップフィルタ8及びバンドパスフィルタ12がこの順に設けられているが、これらは逆の順序で設けられていてもよい。

## 【 0 0 4 6 】

次に、図 4 を用いて、図 3 に示されるバンドストップフィルタ 8 及びバンドパスフィルタ 1 2 の役割について説明する。

## 【 0 0 4 7 】

図 4 は本発明による再生前の信号パルス内の強度揺らぎを示しており、その横軸は時間 (T) である。このパルスの各部分の SPM によるチャープングを考えると、まず、a 及び a' の部分は光増幅器の自然放出光 (ASE) 雑音或いはファイバ伝送による波形歪等により由来するものである。a 及び a' で示される部分は本来零レベルにあるべきであり、従って強度が低い。従って、a 及び a' で示される部分は、チャープングも小さく光バンドストップフィルタ 8 により除去可能である。

## 【 0 0 4 8 】

次に、b 及び b' で示されるように、パルスのピーク付近及びスロープ上の揺らぎは主に信号パルスと光増幅器の ASE とのビート雑音、光ファイバ伝送による波形歪み等によるものであり、信号の帯域と同等或いは若干広い帯域を持つものであるから、傾斜はパルス自体の傾斜と同等か或いは若干きつい程度である。この場合の強度の変動の山と谷の部分では、傾斜が零となるため、その付近のチャープは小さく、光バンドストップフィルタ 8 により除去される。

## 【 0 0 4 9 】

但し、c 及び c' で示されるように、極端にピーキーな変動成分も存在するであろう。このような特異点では、チャープがパルス自体のスロープにおけるものよりも大きく、スペクトルはメインスロープのそれよりも外側に位置する。従って、こうした特異点の部分の変動は、光バンドパスフィルタ 1 2 の帯域を、メインスロープ部のスペクトル成分を含む広さを持ち且つ特異点の部分の成分までは含まないような適当な帯域に設定することにより、除去することができる。

## 【 0 0 5 0 】

このように、本発明の実施形態では、光ファイバ 2 から出力された出力光信号を光バンドパスフィルタ 1 2 に供給して、光信号のパルスのメインスロープ部におけるチャープングよりも大きなチャープング成分を除去することによって、光



バンドストップフィルタ 8 のみを用いた場合に比べてより高精度な光信号の再生が可能になる。

#### 【0051】

図 5 は図 3 に示される光バンドストップフィルタ 8 及び光バンドパスフィルタ 12 によって与えられる透過帯域を説明するための図である。ここでは、中心波長  $\lambda_s$  の信号スペクトルに対して波長  $\lambda_s$  に関して対象な 2 つの透過帯域が与えられている。2 つの透過帯域の間の阻止帯域は光バンドストップフィルタ 8 によって与えられ、2 つの透過帯域の外側の阻止帯域は光バンドパスフィルタ 12 によって与えられる。従って、光バンドストップフィルタ 8 による阻止帯域のほうが光バンドパスフィルタ 12 の通過帯域よりも狭い。2 つの透過帯域の間の阻止帯域によって図 4 に a, a', b 及び b' で示される雑音成分を除去することができ、2 つの透過帯域の外側の阻止帯域によって c 及び c' で示される雑音成分を除去することができる。

#### 【0052】

光バンドストップフィルタ 8 としては、例えば狭帯域のファイバグレーティングを用いることができる。また、光バンドパスフィルタ 12 としては、ファイバグレーティングによる反射を用いたり或いはダブルキャビティ型の多層膜フィルタ等の高次フィルタを用いることができる。

#### 【0053】

ところで、図 5 においては、中心付近の強度が最も大きな形でスペクトルが表示されているが、分散やパルスのパワーを適当に設定すると、スペクトルの形状をフラットにすることが可能である。正常分散 ( $\beta_2 > 0$ ) に設定した場合などがそうであるし、(この場合パルスは矩形上に広がりつつチャープしていく)、極端な場合には、スーパーコンティニューム (Supercontinuum) と称される超広帯域の白色スペクトルになる (この場合には SPM だけでなく四光波混合等の寄与が大きい)。こうしたフラットなチャープスペクトルに本発明を適用すれば、入力ピークパワーに依存しない一定の出力が得られるので、ピーク付近の揺らぎを効果的に抑圧することができる。

#### 【0054】

図 6 は本発明による光信号の再生装置の第 3 実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、図 2 に示される実施形態と対比して、光増幅器 6 と光ファイバ 2 との間に光フィルタ 1 4 が付加的に設けられている点で特徴付けられる。光フィルタ 1 4 は、光ファイバ 2 に入力されるべき光信号を供給されて、その光信号における信号帯域外の雑音成分を除去する。例えば、光フィルタ 1 4 として、通過帯域の中心波長が  $\lambda_s$  の光バンドパスフィルタを用いることによって、入力信号帯域外に累積している ASE 雑音を予め除去しておくことができる。光フィルタ 1 4 として、 $\lambda_s$  と異なる阻止帯域の中心波長を有する光バンドストップフィルタを用いることもできる。例えば、アップチャープ及びダウンチャープした信号にそれぞれ作用する 2 つの光バンドストップフィルタを用意しておき、これらをタンデムにつなげることによって、光フィルタ 1 4 としての光バンドストップフィルタを得ることができる。光フィルタ 1 4 としてはファイバグレーティングを用いることができる。

#### 【 0 0 5 5 】

このように、光信号における信号帯域外の雑音成分を光フィルタ 1 4 により予め除去しておくことによって、高い OSNR を得ることができるので、より効果的に光信号の再生を行うことができる。

#### 【 0 0 5 6 】

図 7 は本発明による光信号の再生装置の第 4 実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、図 2 に示される実施形態と対比して、光ファイバ 2 と逆符号の分散を提供するもう 1 つの光ファイバ 1 6 が光バンドストップフィルタ 8 の出力に接続されている点で特徴付けられる。光ファイバ 2 は正常分散 ( $\beta_2 > 0$ ) を提供するので、光ファイバ 2 内の SPM によってアップチャープが発生し、光ファイバ 2 から出力され光バンドストップフィルタ 8 を通過した出力光信号は、符号 1 0 ' で示されるように、ピーク付近に穴（強度の部分的な低下）を有していることがある。そこで、この出力光信号を異常分散 ( $\beta_2 < 0$ ) を提供する光ファイバ 1 6 に供給することによって、光ファイバ 2 内における SPM によるアップチャープを補償する。その際、光ファイバ 1 6 における分散値及び入力パワーを適切に設定することによりパルス圧縮効果が起こるので、光バンドストッ

プフィルタ 8 によるスペクトル上及びパルスのピーク付近の穴又は欠落を補正可能であるとともに、チャープの低減化により、符号 1 8 で示される再生パルスのその後の伝送における波形劣化も低減可能である。尚、このチャープの低減化は、DCF、ファイバグレーティング等の光フィルタ、位相変調器等の他の手段を用いて行うこともできる。

## 【 0 0 5 7 】

このように、本実施形態では、分散補償器としての光ファイバ 1 6 を用いて光ファイバ 2 の出力光信号を分散補償しているので、波形劣化を低減することができ、より高精度な光信号の再生が可能になる。

## 【 0 0 5 8 】

図 8 は本発明による光信号の再生装置の第 5 実施形態を示すブロック図である。この実施形態は図 7 に示される実施形態と対比して、光増幅器 6 の入力にパルス圧縮器 2 0 が付加的に設けられている点で特徴付けられる。また、図 3 に示される実施形態におけるのと同様に、光バンドストップフィルタ 8 の出力に光バンドパスフィルタ 1 2 が接続されており、分散補償及び若干のチャープの補償のための光ファイバ 1 6 は光バンドパスフィルタ 1 2 の出力に接続されている。

## 【 0 0 5 9 】

パルス圧縮器 2 0 は、正常分散 ( $\beta_2 > 0$ ) を提供する光ファイバ 2 2 と異常分散 ( $\beta_2 < 0$ ) を提供する光ファイバ 2 4 とを直列に接続することによって得られる。この場合、光ファイバ 2 2 におけるアップチャープと光ファイバ 2 4 によるダウンチャープとの組み合わせにより、入力された信号パルス 4 は符号 4 ' で示されるようにパルス圧縮される。光ファイバ 2 2 及び 2 4 において所用のチャープを得るために、パルス圧縮器 2 0 の入力には光増幅器 6 ' が設けられている。

## 【 0 0 6 0 】

この構成によると、光ファイバ 2 に入力されるべき光信号は符号 4 ' で示されるようにパルス圧縮されているので、雑音成分の効果的な除去が可能になり、高精度な光信号の再生が可能になる。

## 【 0 0 6 1 】

図 9 は本発明による光信号の再生装置の第 6 実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、図 8 に示される実施形態と対比して、光ファイバ 1 6 の出力に比較的狭い通過帯域の中心波長が  $\lambda_s$  である光バンドパスフィルタ 2 6 が付加的に接続されている点で特徴付けられる。この構成によると、再生パルスが光バンドパスフィルタ 2 6 を通過することによって、符号 1 8 ' で示されるように、圧縮されていたパルス幅を元の幅に戻すことができる。

## 【 0 0 6 2 】

以上説明した実施形態では、光再生装置を光ファイバ、光フィルタ及び光増幅器から構成しているので、光 2 R 再生を行うに際して、偏光依存性がなく、損失が小さく、しかも多波長一括再生が可能である、という顕著な効果が得られる。多波長一括再生が可能になることをより特定のに説明する。

## 【 0 0 6 3 】

図 1 0 は本発明によるシステムの実施形態を示すブロック図である。このシステムは、異なる波長 ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ ) を有する複数の光信号を波長分割多重して得られた WDM 信号光を出力する送信機 2 8 と、送信機 2 8 から出力された WDM 信号光を伝送する光ファイバ伝送路 3 0 と、光ファイバ伝送路 3 0 から出力された WDM 信号光が供給される再生装置 3 2 と、再生装置 3 2 から出力された出力光信号としての WDM 信号光を伝送する光ファイバ伝送路 3 4 と、光ファイバ伝送路 3 4 から出力された WDM 信号光を受ける受信機 3 6 とを備えている。受信機 3 6 は受けた WDM 信号光に基づき元の複数の光信号を復調する。

## 【 0 0 6 4 】

再生装置 3 2 における光導波構造が光ファイバである場合、その分散は、WDM 信号光のクロストークが生じない程度に大きいことが望ましい。

## 【 0 0 6 5 】

再生装置 3 2 は本発明に従って以上の種々の実施形態に順じて構成することができる。本発明に従う再生装置 3 2 を WDM 信号光に適合させる場合、(a) 帯域の確保及び (b) 光フィルタの設計が重要である。これを順を追って説明する。

## 【 0 0 6 6 】

## (a) 帯域の確保

WDM信号光の一括再生を可能にするためには、再生装置32がWDM信号光の帯域に見合った帯域を持っていることが望ましい。例えば、図8の実施形態については、光ファイバ2, 16, 22及び24並びに光増幅器6及び6'は全てWDM信号光の帯域よりも広い帯域を持っていることが望まれる。以下、具体的に説明する。

## 【0067】

光ファイバ2は、WDM信号光の各チャネル( $Ch. 1, Ch. 2, \dots, Ch. N$ )のSPMを均等に与えるだけの帯域を持っていることが望ましい。ファイバ内の3次非線形効果の応答時間はフェムト秒オーダーであるから、十分広い帯域が確保されているといえる。但し、チャネルごとに分散の値が異なるとパルスの形状に差が出ることがあるので、光ファイバ2としては、適当な値の正常分散を提供する分散フラットファイバ(DFF)或いは分散傾斜が小さいファイバであることが望ましい。

## 【0068】

光ファイバ16に関しては、各チャネルの分散補償を均等に行うだけの帯域を持っていることが望ましい。この場合の分散補償は異常分散を用いて行うから、分散傾斜が零のDFFであることが望ましく、そのフラット領域をWDM信号光の帯域よりも広く確保していくことが望ましい。但し、光ファイバ2がDFFでない場合には、光ファイバ16としては、光ファイバ2と逆符号の傾斜を持つ適当な値の異常分散ファイバを用いることができる。

## 【0069】

パルス圧縮器20の前段の光ファイバ22は、パルス圧縮のための大きなアップチャープを与える必要がある。従って、光ファイバ22に要求される特性は基本的には光ファイバ2に要求される特性と同じであり、やはり適当な値の正常分散のDFF或いは分散傾斜が小さいファイバであることが望ましい。

## 【0070】

パルス圧縮器20の後段の光ファイバ24に要求される特性は、基本的には光ファイバ16に要求される特性と同様である。

## 【 0 0 7 1 】

光増幅器 6 及び 6 ' については、WDM 信号光の帯域内の各光信号を概ね同じ利得で増幅するだけのフラットな帯域を持っていることが望ましい。

## 【 0 0 7 2 】

## (b) 光フィルタの設計

一括してチャープングを与えた WDM 信号光を一括してフィルタリングするためには、例えば図 1 1 に示されるような特性を有する特殊なフィルタを採用することが望ましい。基本的には、図 5 に示される一対の透過帯域を WDM 信号光の各チャネルの波長に合わせて用意すればよい。光バンドストップフィルタについては、例えば各波長に帯域の中心を持つファイバグレーティングをタンデムにつないで WDM 信号光を透過させればよい。また、光バンドパスフィルタについては、既に実用化されているインターリーバフィルタ等を用いる方法が提案され得る。更に、必要に応じて、再生装置 3 2 に WDM 信号光を入力する前に、インターリーバフィルタ等を透過させて、信号帯域外の A S E 雑音を除去しておけば、各チャネルに関して高精度な光信号の再生が可能になる。このインターリーバフィルタ等の設置位置は再生装置 3 2 における光ファイバ 2 の直前であってもよい。

## 【 0 0 7 3 】

WDM 信号光の各チャネルの変調方式としては、光振幅（強度）変調方式等を適用可能であり、この場合、信号検出するためには、受信機 3 6 で受けた WDM 信号光を帯域フィルタで各チャネルの光信号に分離した後に光直接検波等を行えばよい。

## 【 0 0 7 4 】

光ファイバ伝送路 3 0 及び 3 4 の各々としては、単一モードのシリカファイバ（SMF）を用いることができ、その例としては、1. 3  $\mu$ m 零分散ファイバや 1. 5 5  $\mu$ m 分散シフトファイバ（DSF）がある。

## 【 0 0 7 5 】

光ファイバ伝送路 3 0 及び 3 4 の各々は、少なくとも 1 つの光増幅器を含む光増幅中継伝送路であり得る。この場合、光信号の減衰を光増幅器により補償する

ことができるので、長距離伝送が可能になる。

【 0 0 7 6 】

本発明を実施するに際しては、効果的にチャープを発生させるために、光ファイバ伝送路 3 0 及び 3 4 の各々の G V D や非線形効果による波形歪を予め補償しておくことが望ましい。そのために、光ファイバ伝送路 3 0 及び 3 4 の各々の途中に分散補償器或いは光位相共役器を設けることができる。また、光ソリトン伝送を行う場合に本発明を適用することもできる。

【 0 0 7 7 】

本発明によると、A S E 雑音の抑圧が可能であるので、本発明による光信号の再生装置を中継器として用いる場合には伝送路途中での O S N R の改善が可能になり、また、本発明による光信号の再生装置を受信機として用いる場合には、受信感度の改善が可能になる。

【 0 0 7 8 】

最後に、チャープ補償方法について説明する。これまで述べてきた方法による再生パルスにはチャープが残っている。再生装置の用途として最も期待されるのは伝送路途中の光中継器においてであるから、その後の伝送特性に影響を与えないためにチャープを補償しておくことが望ましい。チャープを補償するには、第 1 に光位相共役 ( O P C ) を用いればよい。再生パルスに O P C を施すことでチャープを反転可能であるから、更に同じ手順で本発明に従って光信号の再生を行って同様のチャープを発生させることにより、チャープ補償が可能である。

【 0 0 7 9 】

尚、O P C には波長シフトを伴わないタイプが望まれるが、光信号の再生に波長変換を伴ってもよい場合には、波長シフトを伴う O P C を用いることもできる。

【 0 0 8 0 】

第 2 の方法は、パルスの立上がり部分と立下り部分とでチャープの符号が反対になることを用いて補償する方法である。図 1 2 を参照して、これをより具体的に説明する。

【 0 0 8 1 】

図 1 2 は本発明による光信号の再生装置の第 7 実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、図 7 に示される実施形態と対比して、光バンドストップフィルタ 8 と分散補償器としての異常分散を提供する光ファイバ 1 6 との間に正常分散を提供する光ファイバ 4 0 が付加的に設けられている点で特徴付けられる。光バンドストップフィルタ 8 からの出力光信号のパルス波形が符号 1 0' で示されるように前後 2 つに分離するように光ファイバ 2 によるチャープ及び光バンドストップフィルタ 8 の帯域が調整され、この出力光信号は、十分なパワーを持って光ファイバ 4 0 に供給される。このとき、2 つに分離したパルスの先頭部分のパルスの立下り部分（中心付近）は正チャープを受け、後半部分のパルスの立上がり部分は負チャープを受ける。一方、パルスの先頭部分は光ファイバ 2 内で負チャープを受けた部分であり、後半部分は正チャープを受けた部分である。従って、光ファイバ 4 0 による 2 回目のチャーピングにより中心部分のチャープを補償すると共に、符号 4 2 で示されるように、パルスの窪みも補償することができる。こうして得たパルスを図 7 に示される実施形態におけるのと同様にして分散補償器としての光ファイバ 1 6 に供給することによって、光信号を正確に再生することができる。

## 【 0 0 8 2 】

更に、光ファイバ 2 によりチャープしたパルスのうち、立下り部分の正チャープ（又は立上がり部分の負チャープ）した成分のみをフィルタリングして（その際各々の部分の中心波長は入力信号パルスの中心波長からシフトしている）、次に、本発明に従って、立上がり部分の負チャープ（または立ち上がり部分の正チャープ）で上記正（負）チャープを補償することができる。その際、光ファイバ 4 0 による 2 回目のチャーピングにおいては、入力信号パルスの中心波長に一致する中心波長を有する信号抽出用の光フィルタを用いることができる。

## 【 0 0 8 3 】

以上説明した本発明の実施形態では、非線形効果を提供する光導波構造として光ファイバを例示したが、本発明はこれに限定されない。例えば、導波路基板上に形成された光導波路や半導体チップとして提供される半導体光増幅器（S O A）も非線形光学効果を提供し得るので、このような光ファイバ以外の光導波構造



にも本発明を適用可能である。

【 0 0 8 4 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によると、光信号のビットレートやパルス形状等に依存しない新規な光信号の再生のための方法、装置及びシステムの提供が可能になるという効果が生じる。また、本発明によると、WDM（波長分割多重）に適した光信号の再生のための方法、装置及びシステムの提供が可能になるという効果もある。本発明の特定の実施形態により得られる効果は、以上説明した通りであるので、その説明を省略する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

図 1 の（A）及び図 1 の（B）はガウシアンパルス及びスーパーガウシアンパルスが光ファイバ中を伝搬する際のチャープングを説明するための図である。

【図 2】

図 2 は本発明による光信号の再生装置の第 1 実施形態を示すブロック図である。

【図 3】

図 3 は本発明による光信号の再生装置の第 2 実施形態を示すブロック図である。

【図 4】

図 4 は本発明に従って除去されるパルス内の強度揺らぎを説明するための図である。

【図 5】

図 5 は本発明の実施形態における光フィルタによる雑音の除去の様子を示す図である。

【図 6】

図 6 は本発明による光信号の再生装置の第 3 実施形態を示すブロック図である。

【図 7】

図 7 は本発明による光信号の再生装置の第 4 実施形態を示すブロック図である。

【図 8】

図 8 は本発明による光信号の再生装置の第 5 実施形態を示すブロック図である。

【図 9】

図 9 は本発明による光信号の再生装置の第 6 実施形態を示すブロック図である。

【図 1 0】

図 1 0 は本発明によるシステムの実施形態を示すブロック図である。

【図 1 1】

図 1 1 は WDM 信号光に適した光フィルタの透過帯域を説明するための図である。

【図 1 2】

図 1 2 は本発明による光信号の再生装置の第 7 実施形態を示すブロック図である。

【符号の説明】

2, 1 6, 2 2, 2 4 光ファイバ

4 信号パルス

6, 6 ' 光増幅器

8 光バンドストップフィルタ

1 2, 2 6 光バンドパスフィルタ

2 0 パルス圧縮器

2 8 送信機

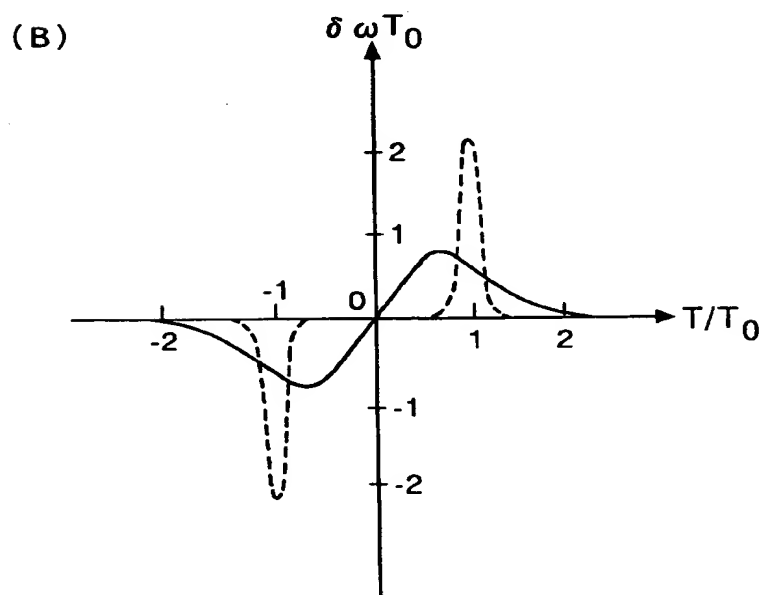
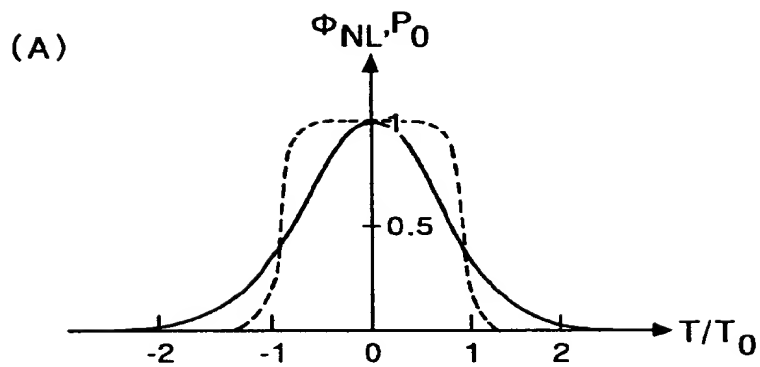
3 0, 3 4 光ファイバ伝送路

3 2 再生装置

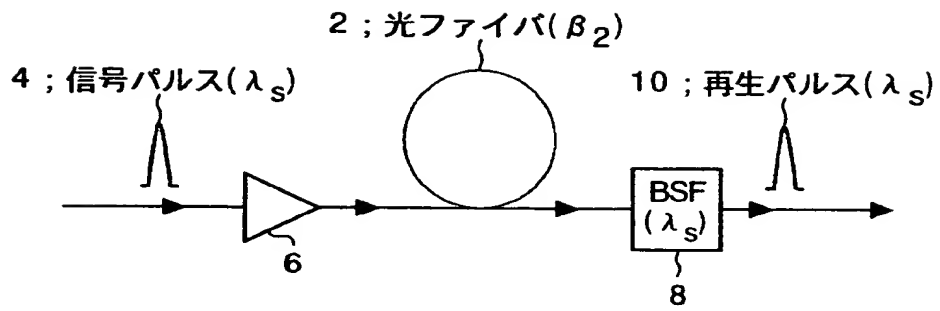
3 6 受信機

【書類名】 図面

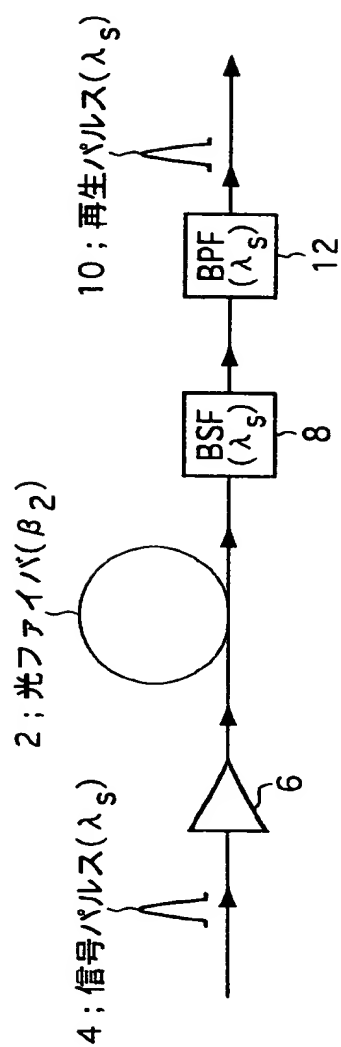
【図 1】



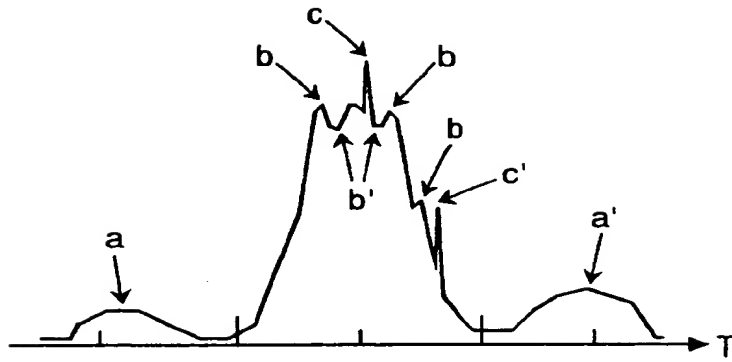
【図 2】



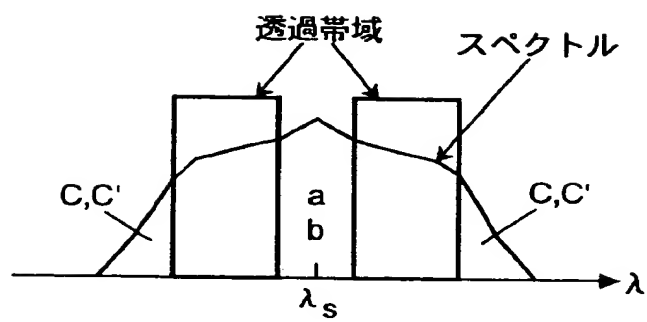
【図 3】



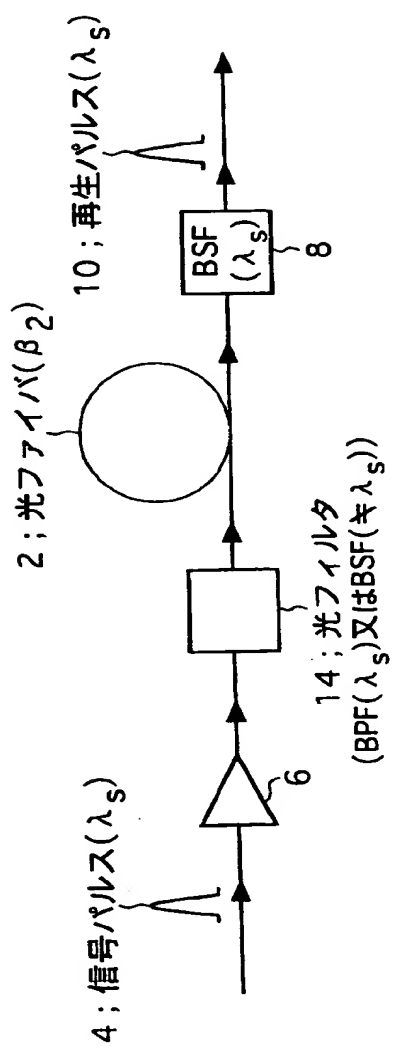
【図 4】



【図 5】

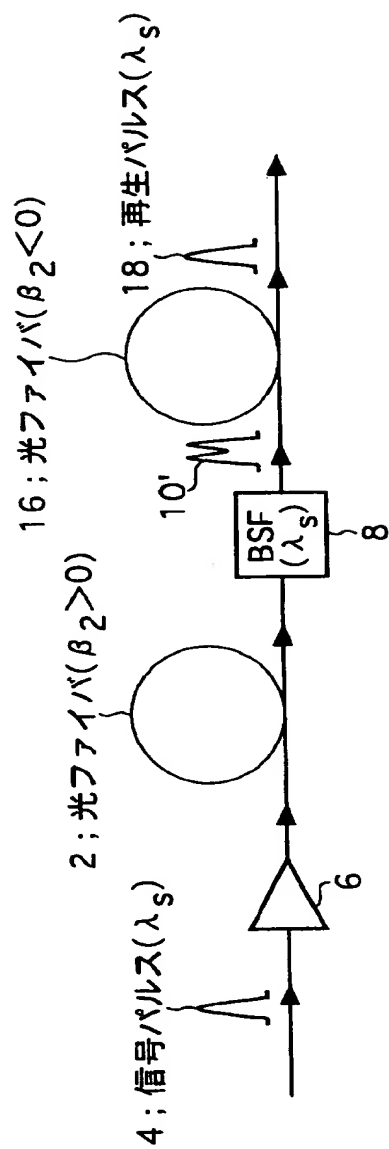


【図 6】

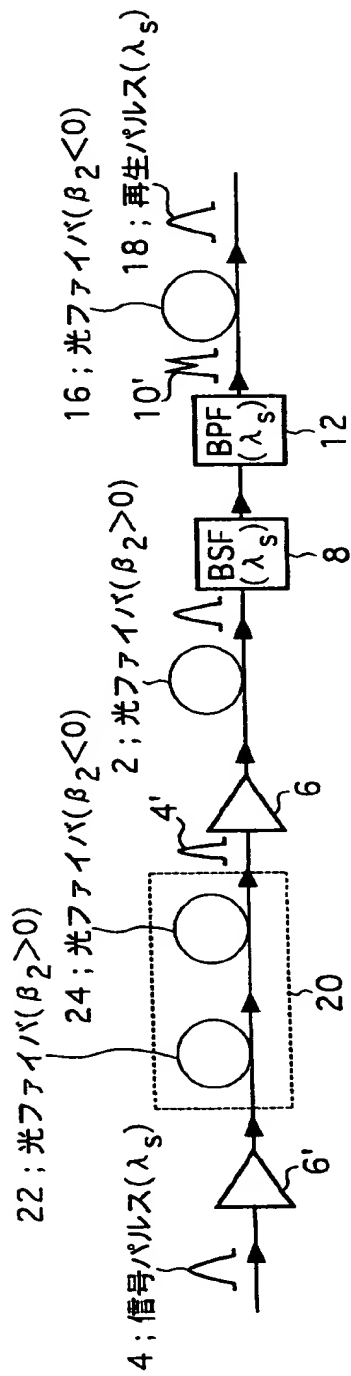




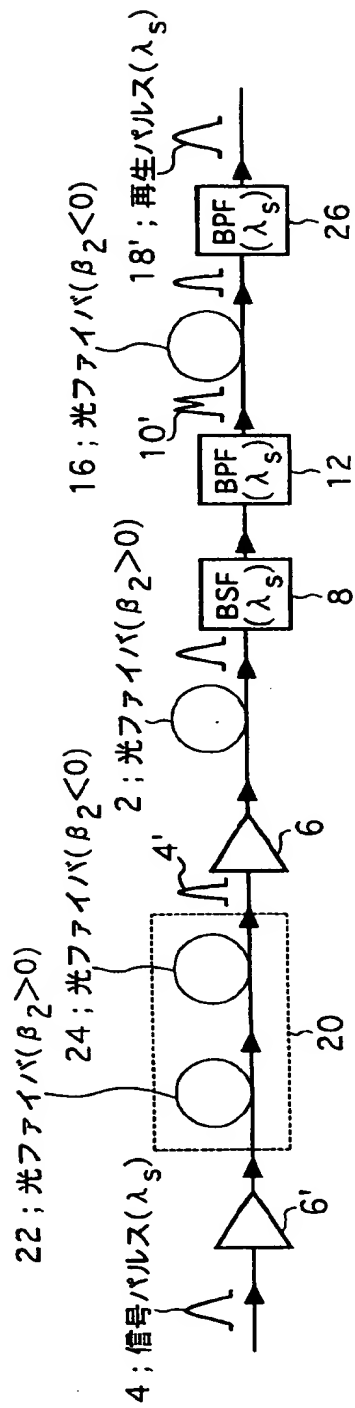
【図 7】



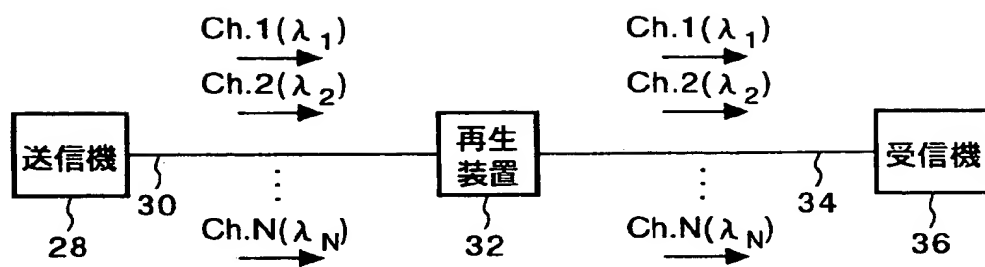
【図 8】



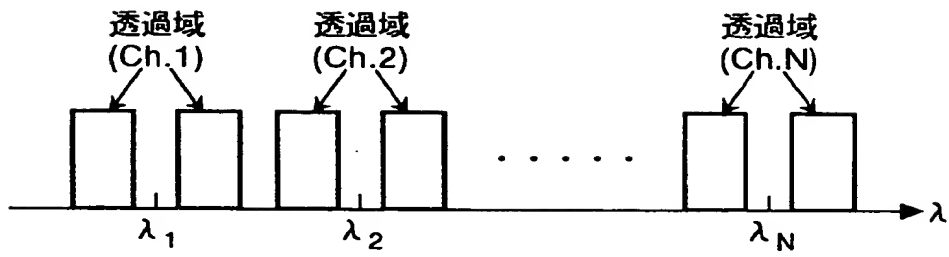
【図9】



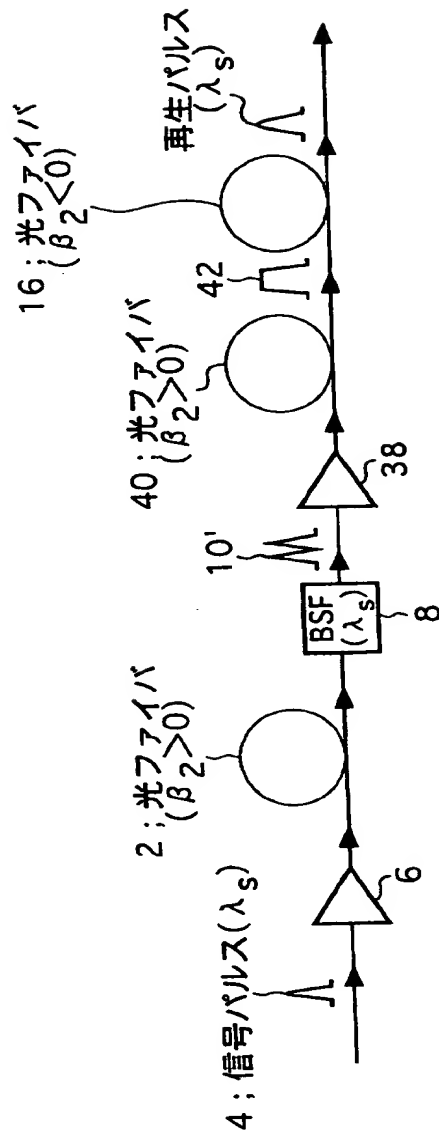
【図 1 0】



【図 1 1】



【図 1 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は光信号を再生するための方法、装置及びシステムに関し、光信号のビットレートやパルス形状等に依存しない光信号の再生方法或いはWDM（波長分割多重）に適した光信号の再生方法を提供することが課題である。

【解決手段】 本発明によると、光信号を再生するための方法が提供される。この方法では、非線形効果を提供する光導波構造（例えば光ファイバ）に光信号が供給されると、非線形効果により光信号にチャープングが生じる。そして、光導波構造から出力された出力光信号を光フィルタに供給することによってチャープングの小さい成分が除去される。パルス上の光信号においてチャープングの小さい成分が除去されると、特にパルスのトップ部分及び／又は低パワー部分の強度揺らぎや累積雑音を除去することができるので、光信号のビットレートやパルス形状等に依存せずに光信号を再生することができる。

【選択図】 図 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日	1996年 3月26日
[変更理由]	住所変更
住 所	神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
氏 名	富士通株式会社